心理科学进展 2022, Vol. 30, No. 11, 2518–2528
Advances in Psychological Science

https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2022.02518

身体拥有感错觉对疼痛的影响及其作用机制*

顾丽佳[1] 宫文潇[2] 张 静[3,4] 陈 巍[1,5] 郭建友[6,7]

([1]绍兴文理学院心理学系；大脑、心智与教育研究中心，浙江 绍兴 321000)
([2]北京大学心理与认知科学学院，北京 100871) ([3]杭州电子科技大学心理健康研究所，杭州 310018)
([4]德累斯顿工业大学心理学系，德累斯顿 德国) ([5]同济大学心理学系，上海 200092)
([6]中国科学院心理健康重点实验室(中国科学院心理研究所)，北京 100101)
([7]中国科学院大学心理学系，北京 100049)

摘 要 身体拥有感错觉以多通道的感官整合为基础，包括视觉−触觉、视觉−本体感觉、触觉−本体感觉、视觉−内感受的整合等。来自实验室急性痛以及慢性痛的大量结果表明拥有感错觉可产生镇痛作用。身体部位尺寸大小、肢体透明度等相关影响因素也逐渐得到揭示。拥有感错觉影响疼痛的机制与身体表征的改变有关，该过程可能涉及“身体网络”与“疼痛网络”间的连接，其中后顶叶皮层可能有重要作用。未来研究应更为深入地探索拥有感错觉范式以考察不同因素对疼痛的影响；在现有多感官整合的范式中重视内感受的作用；考察拥有感错觉改变疼痛的认知神经机制；区分急、慢性痛条件下以及不同慢性痛类型中拥有感错觉对疼痛的不同影响。
关键词 身体拥有感，橡胶手错觉，疼痛，多感官整合，注视镇痛
分类号 B842

1 引言

拥有感(sense of ownership)指的是某个身体部位或做出某个动作的身体部位属于“我”的感觉(Braun et al., 2018; Gallagher, 2000)。身体拥有感与自我意识密切相关，因而是心灵哲学、认知科学哲学及意识心理学领域关注的传统话题。自Botvinick 和 Cohen (1998)在 *Nature* 上发表橡胶手错觉(Rubber Hand Illusion, RHI)的实验范式后，研究者找到了一种可以操纵身体拥有感的方法，引发了心理学家对身体拥有感错觉(body ownership illusion)的研究兴趣。研究者不断拓展相关范式，以探索与身体拥有感相关的主题，如深入考察诱发身体拥有感错觉的不同方式、探索影响身体拥有感错觉的相关因素以及应用身体拥有感相关的错觉等。身体拥有感错觉在疼痛调控(Boesch et al., 2016; Matamala-Gomez et al., 2019b)与运动康复(Matamala-Gomez et al., 2020)方面的探索，取得了最为显著的成果。

疼痛是一种与实际或潜在组织损伤相关的，或类似的不愉快感觉和情绪情感体验(Raja et al., 2020)。急性痛通常具有危险提醒的作用，因而具有积极意义。而慢性痛则不然，长时间的疼痛折磨，给患者和社会带来了巨大的负担。由于传统药物的不确定性和易成瘾性，在疼痛医学中，研究者一直在不断寻找非药物的治疗手段。近年来，由于身体拥有感错觉逐渐显现出在疼痛治疗领域的潜在希望，因而逐渐进入了临床医学关注的视野。

本文将首先回顾近年来不断拓展的身体拥有感错觉研究范式，其本质是多感官通道信息的整合；其次，介绍经典拥有感错觉及其他变式对疼痛影响的研究；再次，围绕心理与神经两个层面探讨拥有感错觉产生镇痛作用可能的机制；最后，我们在文末提出未来研究方向与展望。

2 身体拥有感错觉的产生——多感官通道的整合

在经典的 RHI 实验中，个体之所以对橡胶手

收稿日期：2021-12-24
* 浙江省哲学社会科学规划课题(22NDQN274YB)；浙江省教育厅科研项目(Y202043088)；绍兴文理学院科研启动基金项目(20206008)；国家社科基金一般项目(21BZX005)。
通信作者：陈巍, E-mail: anti-monist@163.com

产生拥有感，源于视觉−触觉通道信息的整合。具体来说，被试将自己的左手放于桌上。研究者将外形与真手相似的橡胶手置于被试正前方，与真手平行放置。桌上设一块挡板以遮挡被试的视线，使其无法看见自己的左手。实验过程中，被试被要求注视眼前的橡胶手。随后，实验人员使用刷子同步轻刷被试的真实手与橡胶手，从而给被试呈现视觉−触觉通道的一致性输入，进而诱发了个体对橡胶手产生拥有感的错觉(Botvinick & Cohen, 1998)。通过这样的实验程序，个体主观报告了对假手的拥有感，同时产生了本体感觉漂移(proprioceptive drift)，即被试指认自己左手的位置，更接近橡胶手所处的位置。甚至当假手受到威胁时，个体会像自己真实的身体部位受到袭击一样产生强烈的生理反应(Ehrsson et al., 2007)。除使用橡胶手此类的实物外，虚拟现实技术的应用使研究者发展出了更多可操纵身体拥有感错觉的方式，如虚拟手错觉(virtual hand illusion, VHI) (Pyasik et al., 2020)、虚拟腿错觉(virtual leg illusion, VLI) (Pozeg et al., 2017)等。除身体部位之外，个体还可对自己的整个身体产生错觉，即全身错觉(full body illusion, FBI) (Ehrsson, 2007; Keenaghan et al., 2020)。

除视觉−触觉的多感官整合外，拥有感错觉还可通过视觉−本体感觉(Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Pyasik et al., 2019)、触觉−本体感觉(Ehrsson et al., 2005; Gallagher et al., 2021)等的整合产生。

在操纵视觉−本体感觉的实验中，研究者使用特殊木盒，被试将真手藏于木盒下方不可见，橡胶手则被放于木盒上方被试视线范围内。实验者用一块布盖住橡胶手的手臂部分，只露出橡胶手的手背。随后实验人员通过一根竖直的小木棍和绳将上(橡胶手)、下(真实手)两只手的食指部分绑在一起。在实验过程中，研究者通过提起小木棍抬起被试的食指，由于真手和假手被绑在一起，此时被试看到橡胶手的食指也抬起。这种视觉−本体感觉(对四肢位置和身体空间位置的意识)输入的一致性，诱发被试对橡胶手产生拥有感(Kalckert & Ehrsson, 2012)，并且其错觉的程度与视觉−触觉条件下产生的 RHI 无差异(Kalckert & Ehrsson, 2014)。

拥有感错觉的产生并不依赖于视觉信息，研究者还拓展了多感觉通道整合诱发拥有感的其他方式——触觉−本体感觉融合(Ehrsson et al., 2005; Gallagher et al., 2021)。具体来说，Ehrsson 等人(2005)在实验过程中将被试双眼遮住，令其两手手掌向下放于桌子上。橡胶手被放置于被试左、右手之间，距被试右手 15 cm 之处。实验人员、被试和橡胶手都戴着相同的塑料外科手套，以使手的触觉表面尽可能相似。错觉诱发期间，实验人员移动被试左手的食指，以触碰橡胶手的食指指关节处；同时，被试的真实右手同一地方，即食指指关节处被实验人员所触碰，造成被试在用左手触碰自己右手的错觉。通过这种触觉−本体感觉的一致性输入，被试产生对橡胶手的拥有感体验。该研究不仅拓宽了拥有感错觉的范式，其另一重要意义在于探索个体拥有感产生的机制时，排除了视觉信息的影响，寻找不同范式下拥有感体验产生的共同机制。

以上拥有感错觉的研究关注不同外感受(exteroception)通道信息的整合，包括视觉−触觉整合，视觉−本体感觉、触觉−本体感觉整合等。近些年，研究者开始考察内感受(interoception)——个体对身体内部状态的觉知(Connell et al., 2018; Craig, 2002) ——在身体拥有感中的作用(Suzuki et al., 2013; Trojan et al., 2018)。在被称为心跳橡胶手错觉(cardiac rubber hand illusion)的实验中，除外感受的视觉信息外，研究者在错觉诱导过程中增加了个体的心跳信息。具体来说，研究者采集在实验过程中被试的心跳数据，并按其频率，以改变虚拟手颜色的方式呈现给被试。即通过虚拟手颜色变化的频率与其心跳的频率一致或不一致，由此操纵视觉−内感受两种通道信息的整合。实验结果表明与不一致条件相比，一致的视觉−心跳反馈增强了个体对虚拟手拥有感的主观强度和本体感觉漂移量(Suzuki et al., 2013)。该研究展示了内感受信号通过多感官整合影响身体拥有感的体验，将多通道的感官整合由外感受延伸至内感受。

3　身体拥有感错觉对疼痛的影响

研究者使用 RHI、虚拟手/腿错觉、全身错觉等，考察了其对实验室诱发痛、自发痛的影响。如在 Hegedüs 等(2014)的实验中，研究者比较了健康被试在 RHI 同步(高拥有感)、不同步(低拥有感)条件下的热痛阈。被试的左手与橡胶手均放在

插入桌面的热探针接触区域，左手与橡胶手之间放置档板。实验过程中，被试需注视可见的橡胶手。在 RHI 诱发阶段，实验者以同步或不同步的方式轻刷被试的真手和橡胶手，随后测试拥有感程度；继续轻刷 1 分钟后进行痛阈的测量。结果发现同步条件下被试的热痛阈显著高于不同步条件。大多数研究的结果表明拥有感错觉能够产生镇痛作用(Cordier et al., 2020; Fang et al., 2019; Preston et al., 2020)。但在急性痛相关结果中，也有一些研究未发现拥有感错觉对疼痛产生影响(Mohan et al., 2012)，甚至发现 RHI 增加了疼痛知觉(Siedlecka et al., 2018)，或对于 RHI 降低还是增加疼痛得到了矛盾的结果(Valenzuela-Moguillansky, 2011)。

此外，研究者也考察了拥有感错觉的其他变式对疼痛的影响，即在经典拥有感错觉的基础上，通过特殊装置或技术，如放大镜、缩小镜、虚拟现实等，使被试看到自己身体部位的尺寸大小、透明度、颜色等发生变化，以阐明其他因素如何影响拥有感错觉的镇痛效应。

3.1 经典拥有感错觉对疼痛的影响

在实验室急性痛相关的研究中，研究者发现拥有感错觉可有效降低被试对伤害性刺激的疼痛评分((Fang et al., 2019)，降低与疼痛相关的生理反应如皮肤电(Romano et al., 2016; Romano et al., 2014)，提高被试的热痛阈(Mancini et al., 2011)、压力痛阈(Hänsel et al., 2011)等。

在慢性痛病人中，身体拥有感错觉也显现出良好的镇痛效果(Pamment & Aspell, 2017; Pozeg et al., 2017; Solcà et al., 2018)。Pozeg 等(2017)展示了虚拟身体错觉在在脊髓损伤病人(spinal cord injury, SCI)人群中的镇痛潜力。研究考察了 SCI 病人对两种身体错觉——虚拟腿错觉和全身错觉——的敏感性。结果发现由于脊髓损伤，SCI 病人对虚拟腿的拥有感较健康人降低，而全身错觉不受影响，即与健康被试无差异。重要的是，虚拟腿错觉和全身错觉均在 SCI 病人中显示了一定的镇痛作用。该研究结果表明，使用多感官刺激干预 SCI 病人的疼痛体验是有效的。在一个包含了坐骨神经痛、骨关节炎、纤维肌痛、肌肉疼痛、肠易激惹综合征和慢性背痛多类型慢性痛病人的研究中，全身错觉使被试的疼痛强度平均降低了 37%(Pamment & Aspell, 2017)。

在身体拥有感错觉的研究中，成功诱发拥有感是其产生镇痛作用的关键。不同感官通道信息输入的时间一致性、真假手之间的空间距离、橡胶手/虚拟手外形、第一人称视角等影响拥有感的产生，其在拥有感错觉镇痛中的作用也被一一证实。

多感官通道信息输入的时间一致性对拥有感产生及其镇痛作用有重要影响(Cordier et al., 2020; Hänsel et al., 2011; Martini et al., 2014)。如在 Martini 等(2014)的研究中，实验条件下被试的真实手指与虚拟手指可产生同步运动，其他控制条件包括真实手指与虚拟手指产生不同步运动、在 VR 中观察虚拟物体而非手部等。结果表明，同步运动条件下个体对虚拟手的拥有感最高，其疼痛阈值也最高。在使用内感受的研究中同样如此(Solcà et al., 2018)。在虚拟现实环境中，实验者向复杂性区域疼痛综合征(complex regional pain syndrome, CRPS)患者呈现与其自身在线心跳(内感受)同步闪烁的手臂(视觉)。非同步条件下，手臂闪烁的频率则与其心跳不一致。研究结果表明该操作能够成功诱发 CRPS 患者对虚拟手的拥有感，有效降低疼痛评分，改善肢体运动功能，调节生理性疼痛指标——心率变异性(heart rate variability, HRV)。并且，这些改善仅发生在心跳频率与虚拟手闪烁同步条件下。

在 RHI 实验范式中，真、假手之间的空间距离影响个体对假手的拥有感强度，以及拥有感错觉产生的镇痛作用(Nierula et al., 2017)。当真实手臂与虚拟手臂重叠在一起时，被试报告的拥有感和热痛阈显著高于二者之间的距离较远(30cm)时。再度增加二者的距离，即超过 30cm 时，身体错觉的镇痛作用被消除了。而 30cm 的距离正是 RHI 中的常用实验设置，该参数设置的依据是身体图式在大脑中的表征受身体解剖学结构限制。当超出该距离时，个体对假手的拥有感大大降低(Lloyd, 2007)。

橡胶手或虚拟身体部位的外形更接近人体真实的身体外形时，个体更易产生拥有感，从而影响了疼痛知觉。在全身身体错觉的研究中，实验者给被试呈现虚拟化身(illusory avatar)的正常背部、被打乱的虚拟背部(对照身体)和中性物体(对照物)。结果表明只有在正常、未被打乱的身体条件下，被试才可对化身产生自我认同(self-identification)。相应地，被试对疼痛刺激的皮肤电

导反应(skin conductance response, SCR)降低，且自我认同的程度与 SCR 呈显著负相关，即对虚拟化身的自我认同程度越高，SCR 下降的幅度越大(Romano et al., 2014)。

第一人称视角在身体拥有感的产生中至关重要(Maselli & Slater, 2013)，在疼痛研究中同样如此。当被试从第三人称视角观看自己的身体部分，即在 VR 中观察被旋转了 90°的腿部时，其具身感显著低于第一人称视角下的具身感，并且伴随对伤害性刺激更强的生理反应(Romano et al., 2016)。

尽管大部分研究发现身体拥有感错觉能够产生镇痛作用，但也有研究得到了不一致的结果。有研究未观察到 RHI 的镇痛作用(Mohan et al., 2012)。不一致的结果可能是由于不同实验中对照组实验设置的差异。将不同步轻刷橡胶手与真手设置为对照条件时，存在使用刷子轻刷的时长、方式等的差异。Valenzuela-Moguillansky 等(2013)的研究认为个体对橡胶手的拥有感并非一种“全或无”现象。不同步条件下，被试对橡胶手仍可能产生一定的拥有感，因此可能也具镇痛作用，造成与同步条件下的镇痛效果差异不显著。以上推测在 Martini 等(2014)的研究中可以得到一定程度的验证。该实验除了设置虚拟手与真实手不同步运动的对照条件外，还设置了另一种对照条件，即被试在 VR 中看到的是虚拟物体(圆柱体)。结果发现相较于看到物体，不同步运动条件下，被试对虚拟手的拥有感强度显著更高，其痛阈也较高(未达到显著)。该结果提醒研究者需选择合适的对照条件及参数设置。

此外，有研究发现 RHI 可能产生增加疼痛敏感性的情况(Siedlecka et al., 2018)。在该研究中，被试的左、右手分别被设定为对照手和实验手(用于产生 RHI 错觉的手)，并在 RHI 诱导前后分别让被试进行电刺激的疼痛评分。在疼痛刺激时所有的手都被遮住了。结果表明，在 RHI 诱发后，被试对施加于实验手的疼痛评分显著增加。该结果的产生可能有两种原因：(1)由于左、右手与橡胶手被遮盖，因此被试在接受电刺激前无法准确预期疼痛刺激即将发生的位置。而这种对疼痛的不确定性会增加疼痛感受(Taylor et al., 2017); (2)研究表明当个体注视自己身体部位时可产生镇痛效应(Longo et al., 2009)，而实验设置中遮盖疼痛刺激部位则可能消除了这种作用。以上推论可在未来研究中通过专门的实验设计进行验证。

3.2　其他变式的拥有感错觉对疼痛的影响

近些年来，研究者开始在拥有感基础上，更多地考察其他因素对疼痛的影响。目前这方面的研究中被探索最多的是通过设备改变呈现给被试其身体部位的尺寸大小，也被称为视觉扭曲(visual distortion)。其他还包括通过虚拟现实技术改变肢体透明度、肢体颜色等。这些因素可能并不直接通过影响拥有感的产生或强度对疼痛产生作用，背后的机制需更多探索。

Mancini 等(2011)的研究表明被试看到被放大的手会增加镇痛效果。实验者在镜像装置中放置放大镜或缩小镜，以营造出一种被试看到自己手的尺寸被改变的错觉。结果表明，当被试看到自己的手被放大时，镇痛的效果被增强。而当观察到的手部被缩小时，则会降低镇痛的效果。一个操纵虚拟腿大小的研究得到了类似的结果。被试知觉到的腿部尺寸大小与其对疼痛的 SCR 反应呈负相关，即尺寸越大，SCR 值越低(Romano et al., 2016)。这些研究表明疼痛加工可被身体自我意识的改变所调节，并且这种调节在身体尺寸被放大时更为显著。

然而，在一些慢性痛的研究中，被试看到被放大的肢体会增加疼痛知觉。10 名手部慢性痛的病人在实验过程中被要求移动自己的手部，同时在正常、放大、缩小三种条件下进行观察。结果发现，被试在运动手部过程中，若在视觉上放大肢体，则其报告的疼痛程度和肿胀明显加剧(Moseley et al., 2008)。类似地，在一个个案研究中，一位左臂被截肢、饱受幻肢痛的患者在通过特殊的镜像装置“看到”镜像中被缩小的右臂后，其疼痛显著缓解(Ramachandran et al., 2009)。这与前述来自急性痛的研究中，放大身体部分会增加镇痛效果的结论并不一致。

对骨关节炎病人来说，无论是拉伸或压缩身体部分的错觉都能产生镇痛作用(Preston et al., 2020; Stanton et al., 2018)。实验人员轻轻地“拉”或“推”手的一部分，使手的图像被拉长或压缩，从而给被试一种强烈的错觉，认为自己的手被伸展或缩短。其中一部分人认为拉伸手部对缓解疼痛有效，一部分人报告在压缩状态下手部疼痛被缓解，也有一部分患者感受两种错觉都有效降低了疼痛感。最重要的是，只有当手的疼痛部分被

拉伸或缩小时，才能观察到疼痛的降低，而对手的非疼痛部分进行同样操作却无法产生类似效果(Preston et al., 2020)。

究竟身体部位尺寸的何种视觉呈现产生镇痛作用？就目前的研究证据来看，慢性痛的类型和相应的知觉障碍可能是关键的影响因素。如复杂性区域疼痛综合征的患者通常报告知觉到受累手臂比健康的手臂大(Peltz et al., 2011)，身体错觉的结果表明缩小手部的错觉能减少疼痛(Moseley et al., 2008)，放大整个受累手的错觉则增加疼痛体验(Matamala-Gomez et al., 2019a; Moseley et al., 2008)。相反，骨关节炎患者认为他们的手变小了(Gilpin et al., 2015)。在错觉实验中，拉伸手部比缩小手部的错觉对疼痛的影响更大(Preston et al., 2020)。此外，身体尺寸大小对疼痛的影响在健康被试和慢性痛患者之间结果的不一致，可能涉及慢性痛患者疼痛与身体表征之间的复杂关系。然而，以上推断仍需要更多研究的支持与阐述。

在考察肢体透明度相关的拥有感错觉对疼痛的影响时，健康被试与慢性痛患者、不同慢性痛类型患者的结果也表现出不一致。在健康人中，研究者通过虚拟现实向被试呈现具有不同透明度的虚拟身体。结果表明随着身体变透明，拥有感程度降低。但不同透明度条件下，被试的热痛阈并无差别(Martini et al., 2015)。在慢性痛研究中，复杂性区域疼痛综合征患者表示随着肢体透明度的增加，疼痛被缓解；而周围神经损伤引起的慢性手臂/手部疼痛患者中的研究结果则正相反，即肢体越透明，其疼痛程度越高(Matamala-Gomez et al., 2019)。

除身体部位的尺寸、透明程度外，通过虚拟现实呈现手臂颜色的不同也会影响痛阈。红色皮肤常被认为与发炎、敏感性增加有关，而蓝色皮肤与寒冷有关。研究的结果表明，与正常肤色相比，变红的“热”手臂显著降低了被试的痛阈。而蓝色“冷”手臂的视觉呈现使个体的痛阈显著升高(Martini et al., 2013)。

由此可见在诱导个体对身体或身体某部分产生拥有感的前提下，操纵身体所呈现的大小、透明度、颜色等都可能对疼痛知觉产生不同的影响，显示了具身虚拟身体用于疼痛治疗的多样化前景。因此，未来临床中，针对患者独特的疼痛体验及相关症状提供个性化身体错觉可以实现更稳定和更强大的镇痛效果。

4 身体拥有感错觉影响疼痛的机制

从心理机制的角度而言，拥有感错觉影响疼痛感知的过程被认为与个体的身体表征改变有关(如图 1)。而在神经机制方面，目前尚没有直接使用经典拥有感错觉范式的实验证据来解释这一问题。但拥有感错觉影响疼痛的现象与其他两个现象密切联系，其一是跨模态的镜像视觉反馈；其二是视觉反馈产生的镇痛作用(或注视镇痛，visual analgesia)。首先，跨模态的镜像视觉反馈与身体拥有感错觉都需要不同感官通道的一致性整合。研究者对于镜像反馈治疗的研究起源较早，Ramachandran 和 Rogers-Ramachandran (1996)最早报告了镜像疗法在缓解幻肢痛中的前景。尽管当时的文献并没有将镜像疗法与拥有感相联系，但这二者的本质是相同的——来自不同感官通道的信息一致性整合。镜像反馈治疗中，幻肢痛病人通常在镜中看到自己正常肢体(如未被截去的右肢)，并不断活动自己的肢体。通过这种运动意图、躯体感觉、视觉的一致性反馈，患者产生了截肢被恢复的错觉。并且有趣的是，对传统镜像疗法的无反应者，通过使用传统镜盒设置应用同步的触觉和视觉信息(同步抚摸)则显著减轻了疼痛(Schmalzl et al., 2013)。因此，和跨模态的镜像视觉反馈一样，拥有感错觉中多感官的整合使个体能够对假肢产生拥有感。其次，尽管拥有感的体验源于不同通道的一致性整合，但拥有感错觉镇痛的机制可能离不开视觉通道的信息，并且这种信息必须与自己的身体有关(Siedlecka et al., 2018)。Longo 等(2009)发现直接注视自己的手部可产生一定的镇痛作用，并且只有注视自己的身

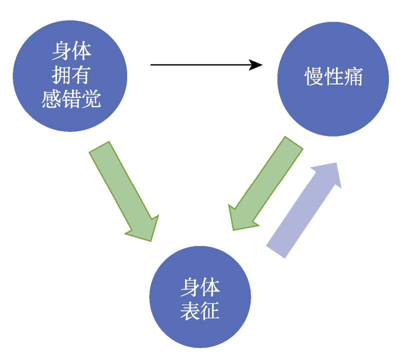


图 1 身体拥有感错觉、身体表征与疼痛

体，而非物体或他人的身体才能产生镇痛作用。而之后的研究中，无论使用镜子、橡胶手、虚拟现实，实验中被试都须注视自己的身体部分。因此联系以上两种类似现象，我们将在 4.2 部分探讨拥有感错觉影响疼痛的神经机制。

4.1 身体拥有感错觉影响疼痛的心理机制

身体拥有感错觉影响疼痛的心理机制涉及身体表征自上而下的调控。身体表征指的是对身体的感知觉、认知、态度等，包括身体从记忆中的内在心理结构和完整的多感官整合，以不断更新身体信息感知和行动(Riva, 2018)，它在本质上是一种身体自我意识。而疼痛知觉具有很强的主观性，极易受到认知因素的影响，如注意(Kim et al., 2021)、认知重评(Ng et al., 2021)、预期(Henderson et al., 2020)等。在身体相关的错觉中，无论是急性痛还是慢性痛，个体的疼痛知觉都受到被改变的身体表征自上而下的调控。

拥有感错觉使个体将人造的或虚拟的肢体、躯干等感知为自己的身体部分(Coleshill et al., 2017; Ehrsson, 2020; Tsakiris & Haggard, 2005)，强烈地改变了个体的身体表征。身体表征的复杂认知依赖于来自多感官通道的信息整合，包括对视觉、触觉、本体感觉、内感受信号等的整合(Ehrsson, 2020)。如 RHI、虚拟腿错觉、全身错觉等都改变了个体的自我认同(Romano et al., 2014)、自我定位(Hänsel et al., 2011)等。而当被试注视被认为是属于自己的肢体时，其自我感知(self-perception)进一步发生改变。如在注视镇痛的相关实验中，与看到非手物体相比，被试看到镜像中的手，其疼痛评分显著降低(Longo et al., 2009)。这种镇痛效果不仅体现在感知到的疼痛强度和不愉快感的评分，也反映在激光诱发电位的 N2/P2 复合波的波幅上。重要的是，这种效应仅限于看到自己的手，即看到实验者的手没有明显的效果，这表明镇痛效应与自我身体表征被改变的特殊关系。这一点在其他研究亦得到了证实(Mancini et al., 2013)，即相对于观看中性物体，观看自己的身体会增加双侧伤害性刺激诱导的 β 振荡活动，这可能表明皮层伤害性信息的加工受到抑制。以上证据均表明拥有感错觉通过改变个体的身体表征，进而影响疼痛感知。

在慢性痛中，拥有感错觉的镇痛作用可能与恢复慢性痛病人异常的身体表征有关。许多慢性痛患者报告疼痛部位的身体知觉异常，其身体表征在某种程度上是扭曲的——要么是在对肢体大小、姿势的知觉上，要么甚至感觉不到肢体的存在(Martínez et al., 2018; Viceconti et al., 2020)。如尽管复杂性区域疼痛综合征患者的肢体确有疼痛感，但患者常常报告很少注意，甚至似乎并不在意他们的患肢，好像这不是其身体的一部分(Ten Brink & Bultitude, 2021)。临床将这种身体知觉障碍称为“忽视样症状” (neglect-like symptoms)。以往研究已证实其他操纵身体表征的多种方式，如镜像视觉反馈训练等(Ramachandran & Rogers-Ramachandran, 1996)，对慢性痛的治疗有效。研究也证实了拥有感错觉产生的镇痛作用与身体表征被改变的程度有关。在一个针对脊髓损伤的神经病理痛研究中，病患分别经历虚拟行走、引导想象和看电影三种条件，并对虚拟腿进行异己性(foreignness)的评分。在虚拟行走的错觉体验后，被试对疼痛的视觉模拟评分显著降低，降幅达到 65%。并且疼痛降低的程度与异己性的改变程度呈显著相关，即对虚拟腿的感觉越逼真，镇痛的效果越好(Moseley, 2007)。其他一些研究虽没有考察身体表征被改变的程度与镇痛效应间的相关性，但这些研究均表明在拥有感错觉的条件下，慢性痛患者的疼痛评分显著降低(Pamment & Aspell, 2017; Pazzaglia et al., 2016; Pozeg et al., 2017; Soler et al., 2010)。

4.2 身体拥有感错觉影响疼痛的神经机制

在神经机制方面，目前尚没有直接使用经典拥有感错觉范式的实验证据来解释这一问题。借鉴其他身体错觉的研究，我们认为拥有感错觉影响疼痛的神经机制可能涉及身体网络(body matrix)和疼痛网络(pain matrix)两个系统。其中在急性痛中，拥有感体验的产生可能首先激活身体网络，从而对疼痛网络产生抑制作用。慢性痛患者常存在身体知觉障碍及相应的皮层功能异常，而拥有感错觉镇痛可能与恢复其皮层的功能障碍有关。

“身体网络”这一概念由 Moseley 等人(2012)提出，以解释身体拥有感的产生以及大脑对身体的表征与身体本身的完整性之间存在的复杂关系。它将来自直接周围环境的不同身体信号和感官刺激解释并整合到一个连贯的以身体为中心的框架中，描述了在环境中自我的高级表征。这种身体表征源于不同大脑区域(例如视觉、触觉和本

体感受)对感觉信号的处理，以及这些信号在高级联合大脑区域(higher associative brain areas)中的进一步整合。身体网络可能包括负责处理和整合基于空间信息的后顶叶皮层(posterior parietal cortex, PPC)和加工内感受意识、维持稳态的岛叶皮层等。其中，后顶叶皮层已在以往研究中证实是拥有感加工的关键区域(Tsakiris, 2010)，这与Moseley等人的假说一致。此外，Longo等人(2012)在注视镇痛的研究中发现一些与自我身体视觉加工相关的大脑区域被激活，即相较于注视物体时，由注视自己手部激活的特异性脑区，包括后顶叶区域、颞枕皮层等。拥有感体验的产生以及视觉自己身体都与后顶叶皮层密切相关，反映了自我身体意识加工的过程。因此，拥有感错觉镇痛过程可能首先涉及身体自我加工相关脑区的激活，其中后顶叶节点可能有重要作用。

疼痛网络指大脑中一些特定区域所组成的脑网络，主要负责对疼痛刺激的加工并编码疼痛体验，这些区域的联合激活被认为是疼痛在大脑中的表征，包括初级躯体感觉皮层(primary somatosensory cortex, SI)、次级躯体感觉皮层(secondary somatosensory cortex, SII)、脑岛、前扣带回皮层(anterior cingulate cortex, ACC)等(Legrain et al., 2011)。在急性痛中，拥有感错觉的镇痛作用可能缘于对疼痛网络的抑制作用。如在Longo等人(2012)的研究中，被试通过镜子注视自己的手部，可以降低实验室诱发的急性痛程度，伴随着SI和对侧岛盖皮质(contralateral operculoinsular cortex)的激光诱发活动显著降低。通过心理生理交互进行的连接性分析，确认镇痛作用与视觉身体网络中的后顶叶皮层和疼痛网络之间的功能连接性增强有关。

身体错觉对慢性痛的影响则涉及对患者皮层功能障碍的逆转。一项镜像疗法的研究考察截肢后幻肢痛患者通过4周的镜像治疗后疼痛程度的改变(Foell et al., 2014)。结果表明治疗后被试的幻肢痛明显下降(平均下降27%)，疼痛的变化与初级躯体感觉皮层功能障碍的重组逆转之间存在相关。此外，镜像训练后疼痛的减轻也与后顶叶皮层的亚区——顶下小叶(inferior parietal cortex, IPC)——的活动有关。

通过以上分析，我们可以推测身体拥有感错觉很有可能通过激活身体网络，通过与疼痛网络的相互作用，进而影响疼痛信号的加工。而在该过程中后顶叶皮层可能具有重要作用。然而尽管PPC在镜像治疗及注视产生的镇痛过程中具有重要作用，在身体拥有感错觉影响疼痛的现象中是否涉及身体网络，尤其是PPC还需实验证据的支持。此外，“身体网络”这个概念的提出不仅描述了个体在环境中自我的高级表征，它还包含这样一种想法，当这种内部身体表征因临床状况(例如慢性疼痛、饮食失调、运动障碍等)发生扭曲时，可通过使用身体相关的错觉调节内部表征，以恢复其功能结构。

5 总结和展望

随着身体拥有感错觉范式的成熟及相关机制的揭示，研究者也逐渐将研究目标转向身体错觉的应用，即利用拥有感错觉进行疾病的治疗。尤其在疼痛领域，进行疼痛转化研究是一个非常具潜力的方向。Riva (2018)称之为“具身疼痛医学”(embodied pain medicine)。总得来说，目前研究主要集中在不同类型拥有感错觉(如RHI、VHI、FBI等)及与身体相关的因素对疼痛影响的行为学层面。如要全面地将拥有感错觉应用于疼痛领域，相关研究还需要重视如下几个方面的问题。

首先，尽管目前研究总体发现身体拥有感错觉可产生镇痛作用，然而研究也表明镇痛作用受多方面因素的影响，如由于遮蔽橡胶手导致的阴性结果(Siedlecka et al., 2018)。其原因究竟涉及个体对疼痛的不确定性预期，还是因为失去视觉反馈而导致拥有感错觉的镇痛作用被消除并不清楚。这一点可在未来研究中通过两因素的实验设计得到验证。我们预期来自自己身体部位的视觉反馈对镇痛作用的产生至关重要。另外，包含视觉反馈的拥有感错觉变式(如身体部位被放大或缩小，呈现给被试的肢体颜色等)影响镇痛作用的强弱。这就提示我们在未来临床的疼痛干预中，应将身体拥有感错觉与视觉反馈妥善结合，且将视觉反馈的信息与慢性痛的具体类型相匹配。依据不同的慢性痛个体实施个性化的拥有感错觉类型，实现更精准的镇痛作用。

其次，深入考察拥有感错觉变式对镇痛作用的影响时，在实验室急性痛被试与慢性痛患者，以及不同慢性痛患者中得到了不一致的结果，因此未来需细化相关研究并探索其背后的机制。如在急性痛研究中，放大肢体产生的镇痛作用是否

与被试身体自我意识增强有关。而在慢性痛中,拥有感错觉调节疼痛的方向可能与慢性痛的类型及相应的身体知觉障碍有关。除关注身体知觉障碍外,对于大脑皮层表征异常的考察有助于此问题的解释。当前大部分研究只观察短时间内身体错觉对慢性痛患者身体知觉障碍的影响,对皮层表征的改变缺乏关注,而以往研究表明身体知觉障碍通常与皮层表征异常有关(Maihöfner et al., 2003)。因此我们认为未来应当考虑增加干预次数和时长,并同时关注患者报告的身体知觉改变与客观监测的皮层表征改变。同时设置标准化的治疗方案,由此不仅可能实现更好的干预效果,且可能成为慢性痛患者可全天候在家治疗的更为经济的方案。另外,身体拥有感错觉镇痛的机制是否与注视镇痛以及镜像反馈治疗密切相关,需要更多的探索。而身体网络与疼痛之间的关系,后顶叶皮层等脑区具有怎样的作用,也需后续实验证据的支持。这些问题的探索对于未来身体拥有感错觉在临床中的应用有重要意义。

再次,在当前的多感官整合范式中,往往更多使用来自外感受通道的信息,而较少关注内感受信息。然而,内感受在利用拥有感错觉进行疼痛干预中的作用不容忽视。一方面,从应用的角度来说,一些利用外感受的多感官整合方式在一些慢性痛患者中并不适用,如在复杂性区域疼痛综合征病人使用视觉-触觉整合、视觉-本体感觉整合时,移动甚至是轻微触碰患者的受累肢体或身体部分可能会增加疼痛,即触诱发痛(allodynia)(Packham et al., 2020)。而内感受的参与,则正可以在避免任何触觉刺激的条件下,诱发病患产生对于身体某部分的拥有感体验,从而实现对疼痛的干预。因此,该方式可以实现更长时间与更频繁的治疗应用。另一方面,从神经生物学的角度而言,疼痛加工和心跳相关信号加工存在交互作用。研究发现相较于心动周期的舒张期,疼痛相关诱发电位在收缩期波幅较小,表明收缩期皮层的伤害性感受加工减弱(Edwards et al., 2008)。基于此,解析内感受的信号加工对疼痛的影响以及将内感受纳入多感官整合可能有助于更好的疼痛干预手段产生。

最后,对拥有感错觉范式的创新与探索,有助于考察拥有感错觉中的不同因素对疼痛的影响。尽管传统的 RHI 范式的出现颇具创新性,然而其采用问卷形式衡量错觉程度易受到认知偏见的影响,本体感觉漂移测量和 SCR 缺乏特异性。针对不同的实验目的,开发拥有感错觉中不同的衡量方式可更好地为实验服务。如最近的一个实验设计方案,允许精确和直接测量身体拥有感错觉(Chancel & Ehrsson, 2020)。该研究采用二项迫选辨别任务,即实验者向被试呈现两只不同的橡胶手,被试需要在两只橡胶手中决定哪一只感觉更像他们自己的。该设计允许实验者在同一实验条件中对某些自变量的效果进行直接比较。若未来能将此类拥有感错觉范式应用在疼痛研究中,可解决更多相关问题,如直接比较拥有感错觉中的不同因素对疼痛的影响,如橡胶手与真实手的距离、刷手的时间一致性、接触橡胶手和真手的物体的触觉特性之间的一致性等,以阐明拥有感体验和疼痛二者之间的关系。

参考文献

Boesch, E., Bellan, V., Moseley, G. L., & Stanton, T. R. (2016). The effect of bodily illusions on clinical pain: A systematic review and meta-analysis. *Pain*, *157*(3), 516–529.

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, *391*(6669), 756–756.

Braun, N., Debener, S., Spychala, N., Bongartz, E., Sörös, P., Müller, H. H. O., & Philipsen, A. (2018). The senses of agency and ownership: A review. *Frontiers in Psychology*, *9*, Article 535.

Chancel, M., & Ehrsson, H. H. (2020). Which hand is mine? Discriminating body ownership perception in a two-alternative forced-choice task. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *82*(8), 4058–4083.

Coleshill, M. J., George, D. N., & Mazzoni, G. (2017). Placebo analgesia from a rubber hand. *Journal of Pain*, *18*(9), 1067–1077.

Connell, L., Lynott, D., & Banks, B. (2018). Interoception: The forgotten modality in perceptual grounding of abstract and concrete concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *373*(1752), Article 20170143.

Cordier, L., Fuchs, X., Herpertz, S., Trojan, J., & Diers, M. (2020). Synchronous stimulation with light and heat induces body ownership and reduces pain perception. *Journal of Pain*, *21*(5-6), 700–707.

Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(8), 655–666.

Edwards, L., Inui, K., Ring, C., Wang, X., & Kakigi, R. (2008). Pain-related evoked potentials are modulated across the cardiac cycle. *Pain*, *137*(3), 488–494.

Ehrsson, H. H. (2007). The experimental induction of out-of-body experiences. *Science*, *317*(5841), 1048.

Ehrsson, H. H. (2020). Multisensory processes in body ownership. In K. Sathian & V. S. Ramachandran (Eds.), *Multisensory perception: From laboratory to clinic* (pp. 179–200). Elsevier.

Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: Feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *Journal of Neuroscience*, *25*(45), 10564–10573.

Ehrsson, H. H., Wiech, K., Weiskopf, N., Dolan, R. J., & Passingham, R. E. (2007). Threatening a rubber hand that you feel is yours elicits a cortical anxiety response. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(23), 9828–9833.

Fang, W., Zhang, R., Zhao, Y., Wang, L., & Zhou, Y.-D. (2019). Attenuation of pain perception induced by the rubber hand illusion. *Frontiers in Neuroscience*, *13*, Article 261.

Foell, J., Bekrater-Bodmann, R., Diers, M., & Flor, H. (2014). Mirror therapy for phantom limb pain: Brain changes and the role of body representation. *European Journal of Pain*, *18*(5), 729–739.

Gallagher, M., Colzi, C., & Sedda, A. (2021). Dissociation of proprioceptive drift and feelings of ownership in the somatic rubber hand illusion. *Acta Psychologica*, *212*, Article 103192.

Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(1), 14–21.

Gilpin, H. R., Moseley, G. L., Stanton, T. R., & Newport, R. (2015). Evidence for distorted mental representation of the hand in osteoarthritis. *Rheumatology*, *54*(4), 678–682.

Hänsel, A., Lenggenhager, B., von Känel, R., Curatolo, M., & Blanke, O. (2011). Seeing and identifying with a virtual body decreases pain perception. *European Journal of Pain*, *15*(8), 874–879.

Hegedues, G., Darnai, G., Szolcsanyi, T., Feldmann, A., Janszky, J., & Kallai, J. (2014). The rubber hand illusion increases heat pain threshold. *European Journal of Pain*, *18*(8), 1173-1181.

Henderson, L. A., di Pietro, F., Youssef, A. M., Lee, S., Tam, S., Akhter, R., Mills, E. P., Murray, G. M., Peck, C. C., & Macey, P. M. (2020). Effect of expectation on pain processing: A psychophysics and functional MRI analysis. *Frontiers in Neuroscience*, *14*, Article 6.

Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a rubber hand that feels like your own: A dissociation of ownership and agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, Article 40.

Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The moving rubber hand illusion revisited: Comparing movements and visuotactile stimulation to induce illusory ownership. *Consciousness and Cognition*, *26*, 117–132.

Keenaghan, S., Bowles, L., Crawfurd, G., Thurlbeck, S., Kentridge, R. W., & Cowie, D. (2020). My body until proven otherwise: Exploring the time course of the full body illusion. *Consciousness and Cognition*, *78*, Article 102882.

Kim, D., Woo, C.-W., & Kim, S.-G. (2021). Neural mechanisms of pain relief through paying attention to painful stimuli. *Pain*, *163*(6), 1130–1138.

Legrain, V., Iannetti, G. D., Plaghki, L., & Mouraux, A. (2011). The pain matrix reloaded: A salience detection system for the body. *Progress in Neurobiology*, *93*(1), 111–124.

Lloyd, D. M. (2007). Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand. *Brain and Cognition*, *64*(1), 104–109.

Longo, M. R., Betti, V., Aglioti, S. M., & Haggard, P. (2009). Visually induced analgesia: Seeing the body reduces pain. *Journal of Neuroscience*, *29*(39), 12125–12130.

Longo, M. R., Iannetti, G. D., Mancini, F., Driver, J., & Haggard, P. (2012). Linking pain and the body: Neural correlates of visually induced analgesia. *Journal of Neuroscience*, *32*(8), 2601–2607.

Maihöfner, C., Handwerker, H. O., Neundörfer, B., & Birklein, F. (2003). Patterns of cortical reorganization in complex regional pain syndrome. *Neurology*, *61*(12), 1707–1715.

Mancini, F., Longo, M. R., Canzoneri, E., Vallar, G., & Haggard, P. (2013). Changes in cortical oscillations linked to multisensory modulation of nociception. *European Journal of Neuroscience*, *37*(5), 768–776.

Mancini, F., Longo, M. R., Kammers, M. P., & Haggard, P. (2011). Visual distortion of body size modulates pain perception. *Psychological Science*, *22*(3), 325–330.

Martínez, E., Aira, Z., Buesa, I., Aizpurua, I., Rada, D., & Azkue, J. J. (2018). Embodied pain in fibromyalgia: Disturbed somatorepresentations and increased plasticity of the body schema. *PloS One*, *13*(4), Article e0194534.

Martini, M., Kilteni, K., Maselli, A., & Sanchez-Vives, M. V. (2015). The body fades away: Investigating the effects of transparency of an embodied virtual body on pain threshold and body ownership. *Scientific Reports*, *5*, Article13948.

Martini, M., Perez-Marcos, D., & Sanchez-Vives, M. V. (2013). What color is my arm? Changes in skin color of an embodied virtual arm modulates pain threshold. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, Article 438.

Martini, M., Perez-Marcos, D., & Sanchez-Vives, M. V.

(2014). Modulation of pain threshold by virtual body ownership. *European Journal of Pain*, *18*(7), 1040–1048.

Maselli, A., & Slater, M. (2013). The building blocks of the full body ownership illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, Article 83.

Matamala-Gomez, M., Diaz Gonzalez, A. M., Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2019a). Decreasing pain ratings in chronic arm pain through changing a virtual body: Different strategies for different pain types. *Journal of Pain*, *20*(6), 685–697.

Matamala-Gomez, M., Donegan, T., Bottiroli, S., Sandrini, G., Sanchez-Vives, M. V., & Tassorelli, C. (2019b). Immersive virtual reality and virtual embodiment for pain relief. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, Article 279.

Matamala-Gomez, M., Malighetti, C., Cipresso, P., Pedroli, E., Realdon, O., Mantovani, F., & Riva, G. (2020). Changing body representation through full body ownership illusions might foster motor rehabilitation outcome in patients with stroke. *Frontiers in Psychology*, *11*, Article 1962.

Mohan, R., Jensen, K. B., Petkova, V. I., Dey, A., Barnsley, N., Ingvar, M., McAuley, J. H., Moseley, G. L., & Ehrsson, H. H. (2012). No pain relief with the rubber hand illusion. *PloS One*, *7*(12), Article e52400.

Moseley, G. L. (2007). Using visual illusion to reduce at-level neuropathic pain in paraplegia. *Pain*, *130*(3), 294–298.

Moseley, G. L., Gallace, A., & Spence, C. (2012). Bodily illusions in health and disease: Physiological and clinical perspectives and the concept of a cortical 'body matrix'. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *36*(1), 34–46.

Moseley, G. L., Parsons, T. J., & Spence, C. (2008). Visual distortion of a limb modulates the pain and swelling evoked by movement. *Current Biology*, *18*(22), R1047–R1048.

Ng, S. K., Urquhart, D. M., Fitzgerald, P. B., Kirkovski, M., Cicuttini, F. M., Maller, J. J., Enticott, P. G., Rossell, S. L., & Fitzgibbon, B. M. (2021). Neural activity during cognitive reappraisal in chronic low back pain: A preliminary study. *Scandinavian Journal of Pain*, *21*(3), 586–596.

Nierula, B., Martini, M., Matamala-Gomez, M., Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2017). Seeing an embodied virtual hand is analgesic contingent on colocation. *Journal of Pain*, *18*(6), 645–655.

Packham, T. L., Wainio, K., & Wong, M.-K. (2020). Persons with complex regional pain syndrome renegotiate social roles and intimacy: A qualitative study. *Pain Medicine*, *21*(2), 239–246.

Pamment, J., & Aspell, J. E. (2017). Putting pain out of mind with an "out of body' illusion. *European Journal of Pain*, *21*(2), 334–342.

Pazzaglia, M., Haggard, P., Scivoletto, G., Molinari, M., & Lenggenhager, B. (2016). Pain and somatic sensation are transiently normalized by illusory body ownership in a patient with spinal cord injury. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *34*(4), 603–613.

Peltz, E., Seifert, F., Lanz, S., Müller, R., & Maihöfner, C. (2011). Impaired hand size estimation in CRPS. *Journal of Pain*, *12*(10), 1095–1101.

Pozeg, P., Palluel, E., Ronchi, R., Solcà, M., Al-Khodairy, A.-W., Jordan, X., Kassouha, A., & Blanke, O. (2017). Virtual reality improves embodiment and neuropathic pain caused by spinal cord injury. *Neurology*, *89*(18), 1894–1903.

Preston, C., Gilpin, H. R., & Newport, R. (2020). An exploratory investigation into the longevity of pain reduction following multisensory illusions designed to alter body perception. *Musculoskeletal Science and Practice*, *45*, Article 102080.

Pyasik, M., Salatino, A., & Pia, L. (2019). Do movements contribute to sense of body ownership? Rubber hand illusion in expert pianists. *Psychological Research*, *83*(1), 185–195.

Pyasik, M., Tieri, G., & Pia, L. (2020). Visual appearance of the virtual hand affects embodiment in the virtual hand illusion. *Scientific Reports*, *10*(1), Article 5412.

Raja, S. N., Carr, D. B., Cohen, M., Finnerup, N. B., Flor, H., Gibson, S., … Vader, K. (2020). The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: Concepts, challenges, and compromises. *Pain*, *161*(9), 1976–1982.

Ramachandran, V. S., Brang, D., & McGeoch, P. D. (2009). Size reduction using mirror visual feedback (MVF) reduces phantom pain. *Neurocase*, *15*(5), 357–360.

Ramachandran, V. S., & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, *263*(1369), 377–386.

Riva, G. (2018). The neuroscience of body memory: From the self through the space to the others. *Cortex*, *104*, 241–260.

Romano, D., Llobera, J., & Blanke, O. (2016). Size and viewpoint of an embodied virtual body affect the processing of painful stimuli. *Journal of Pain*, *17*(3), 350–358.

Romano, D., Pfeiffer, C., Maravita, A., & Blanke, O. (2014). Illusory self-identification with an avatar reduces arousal responses to painful stimuli. *Behavioural Brain Research*, *261*, 275–281.

Schmalzl, L., Ragnö, C., & Ehrsson, H. H. (2013). An alternative to traditional mirror therapy: Illusory touch can reduce phantom pain when illusory movement does not. *Clinical Journal of Pain, 29*(10), 10–18.

Siedlecka, M., Spychala, N., Lukowska, M., Wiercioch, K.,

& Wierzchoń, M. (2018). Rubber hand illusion increases pain caused by electric stimuli. *Journal of Pain*, *19*(1), 35–45.

Solcà, M., Ronchi, R., Bello-Ruiz, J., Schmidlin, T., Herbelin, B., Luthi, F., … Blanke, O. (2018). Heartbeat-enhanced immersive virtual reality to treat complex regional pain syndrome. *Neurology*, *91*(5), E479–E489.

Soler, M. D., Kumru, H., Pelayo, R., Vidal, J., Tormos, J. M., Fregni, F., Navarro, X., & Pascual-Leone, A. (2010). Effectiveness of transcranial direct current stimulation and visual illusion on neuropathic pain in spinal cord injury. *Brain*, *133*(9), 2565–2577.

Stanton, T. R., Gilpin, H. R., Edwards, L., Moseley, G. L., & Newport, R. (2018). Illusory resizing of the painful knee is analgesic in symptomatic knee osteoarthritis. *PeerJ*, *6*, Article e5206.

Suzuki, K., Garfinkel, S. N., Critchley, H. D., & Seth, A. K. (2013). Multisensory integration across exteroceptive and interoceptive domains modulates self-experience in the rubber-hand illusion. *Neuropsychologia*, *51*(13), 2909–2917.

Taylor, V. A., Chang, L. K., Rainville, P., & Roy, M. (2017). Learned expectations and uncertainty facilitate pain during classical conditioning. *Pain*, *158*(8), 1528–1537.

Ten Brink, A. F., & Bultitude, J. H. (2021). Predictors of self-reported neglect-like symptoms and involuntary movements in complex regional pain syndrome compared to other chronic limb pain conditions. *Pain Medicine*, *22*(10), 2337–2349.

Trojan, J., Fuchs, X., Speth, S.-L., & Diers, M. (2018). The rubber hand illusion induced by visual-thermal stimulation. *Scientific Reports*, *8*(1), Article 12417.

Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: A neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia*, *48*(3), 703–712.

Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The rubber hand illusion revisited: Visuotactile integration and self-attribution. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *31*(1), 80–91.

Valenzuela-Moguillansky, C. (2011). Role of body awareness. *Journal of Consciousness Studies*, *18*(9-10), 110–142.

Valenzuela Moguillansky, C., O'Regan, J. K., & Petitmengin, C. (2013). Exploring the subjective experience of the "rubber hand" illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, Article 659.

Viceconti, A., Camerone, E. M., Luzzi, D., Pentassuglia, D., Pardini, M., Ristori, D., Rossettini, G., Gallace, A., Longo, M. R., & Testa, M. (2020). Explicit and implicit own's body and space perception in painful musculoskeletal disorders and rheumatic diseases: A systematic scoping review. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*, Article 83.

The influence of body ownership illusion on pain and its potential mechanisms

GU Lijia[1], GONG Wenxiao[2], ZHANG Jing[3,4], CHEN Wei[1,5], GUO Jianyou[6,7]

([1] *Department of Psychology; Center for Brain, Mind and Education, Shaoxing University, Shaoxing* 321000, *China*)
([2] *School of Psychological and Cognitive Sciences and Beijing Key Laboratory of Behavior and Mental Health, Peking University, Beijing* 100871, *China*) ([3] *Institute of Psychological Health, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou* 310018)
([4] *Department of Psychology, Technical University of Dresden, Dresden, Germany*) ([5] *Department of Psychology, Tongji University, Shanghai* 200092, *China*) ([6] *Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*) ([7] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 1000049, *China*)

Abstract: The body ownership illusion (BOI) is associated with multisensory integration, including visuo-tactile, visuo- proprioceptive, tactile-proprioceptive, visual-interoceptive integration and so forth. BOI can be modulated by various factors like the perceived body/limb size, transparency of the body/limb and so on. A series of studies have demonstrated that BOI may be able to reduce acute and chronic pain. Altered body representation represents one of the mechanisms associated with the analgesic impact of BOI, which involves the integrations between the “body matrix” and the “pain matrix”. Moreover, the posterior parietal cortex (PPC) may play a key role in these integrations, which needs to be further validated in fine-designed protocols. Future studies may wish to further characterize the influence of BOI on pain, taking into account the influence of interoception as well as interrogating potential mechanistic evidence, particularly in various chronic pain conditions.

Keywords: body ownership, rubber hand illusion, pain, multisensory integration, visual analgesia